Lane Medical Library

Aus dem physiol. Institut der Universität Würzburg.

Über den Einfluss

der

Temperatur und der Belastung

auf die Zuckung des Muskels.

Inaugural-Dissertation

verfasst und der

hohen medizinischen Fakultät

der

Königl. Bayer. Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

Medizin, Chirurgie und Geburtshülfe

vorgelegt von

Karl Boseck

aus Stolp in Pommern.

WÜRZBURG.

Paul Scheiner's Buchdruckerei (Dominikanergasse 6.)

1896.

Referent: Herr Professor Dr. Fick.

Meinen Eltern gewidmet.

Ueber den Einfluss der Belastung auf den Verlauf der isotonischen Zuckung bei verschiedener Temperatur sind Versuche von Dr. *Schenck* angestellt, und in seiner Schrift „Beiträge zur Kenntniss vom Einfluss der Temperatur auf die Thätigkeit des Muskels“ [1] mitgeteilt. Er sagt über seine Versuchsresultate:

„Ich fasse die in Betracht kommenden Temperaturen in drei Gruppen zusammen: Hohe von 27° ab bis zu den höchsten zulässigen, niedrige von 12° abwärts, mittlere um 20° C.

Die Versuche betrafen:

A. Einzelzuckungen; und zwar:

1. isotonische: das untere Ende des Muskels ist in Verbindung mit einem einfachen isotonisch zeichnenden Schreibhebel. Bei einer bestimmten Temperatur wird die Belastung an der Rolle für verschiedene Zuckungen variirt.

Es zeigte sich:

a) bezüglich der Zeit des Zuckungsmaximums: bei mittlerer Temperatur fallen die Maxima von isotonischen Kurven mit verschiedener Belastung alle annähernd zusammen, bei hoher tritt immer die Zeit des Maximums um so früher ein, je grösser die Belastung, bei niedriger im Allgemeinen, jedoch nicht immer, um so später.

[1] Pflügers Archiv f. Physiolog. Bd. 52. S. 457.

b) die Hubhöhen werden bei allen Temperaturen um so kleiner, je grösser die Belastung, bei hoher Temperatur nehmen sie mit Zunahme der Belastung aber relativ schneller ab, als bei niedriger.

c) die Enden der Zuckungen fallen bei mittlerer und niedriger Temperatur für verschiedene Belastung annähernd zusammen, bei hoher dagegen tritt das Ende um so früher ein, je grösser die Belastung."

Es werden nun zwei Kurven angegeben, von denen die erste bei einer Temperatur von 29,5°, die andere bei einer solchen von 7,5° vom Muskel gezeichnet ist.

Schenck verwertet diese Beobachtungen auch zu theoretischen Betrachtungen. Er geht dabei aus von der Hypothese von *Fick*, dass im thätigen Muskel zwei gesonderte Prozesse sich nebeneinander abspielen; der erste Prozess ist derjenige, welcher die Verkürzung eigentlich verursacht, der zweite derjenige, der die Erschlaffung des Muskels nach der Kontraktion bewirkt. Die Spannung soll auf beide Prozesse Einfluss haben, und zwar soll sie sowohl den Verkürzungsprocess verstärken — diese Annahme stützt sich hauptsächlich auf die Beobachtung *Heidenhains*, dass die gesamte Wärmeentwicklung des thätigen Muskels ceteris paribus um so grösser ist, je grösser die Spannung, — als auch den Eintritt und die Entwicklung des Erschlaffungsprocesses beschleunigen. Diese beiden Einwirkungen sollen nun bei verschiedenen Temperaturen verschieden stark sein, bei dem warmen Muskel soll die Beschleunigung der Erschlaffung durch die Spannung relativ mehr überwiegen als beim kalten Muskel, sodass daraus die schnellere Abnahme der Hubhöhe und die Verfrühung der Gipfelzeit mit Zu-

nahme der Belastung beim warmen Muskel, die langsame Abnahme der Hubhöhe und die Verspätung der Gipfelzeit beim kalten erklärlich sind. Die Annahme, dass die Verstärkung des ersten Prozesses durch die Spannung beim warmen Muskel geringer ist als beim kalten, wird gestützt auf eine Beobachtung von *Fick*, nach welcher der Einfluss der Spannung auf die Wärmeentwicklung des thätigen Muskels beim warmen Muskel relativ geringer ist als beim Kalten.

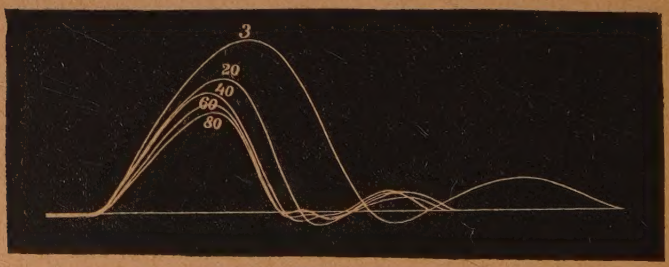
Diese Versuche *Schenck's* bedürfen der Revision, weil sie nicht mit ganz einwandfreier Methode hergestellt sind. *Schenck* hat mit demselben Zeichenhebel, welchen er zu diesen Versuchen verwendete, auch die späteren Untersuchungen mit Anschlagszuckung des warmen Muskels gemacht; das Ergebnis dieser Untersuchungen war anscheinend, dass das Endstück der Anschlagszuckung immer erheblich früher lag, als der absteigende Schenkel der isotonischen Zuckungskurve.[1] Hiergegen hat sich nun kürzlich *Blix*[2] gewendet. Er behauptet, *Schencks* Beobachtungen beruhten auf Versuchsfehlern. Der frühere Abfall des Endstückes der Anschlagszuckung habe in Wirklichkeit nicht statt, sondern sei in den Versuchen nur vorgetäuscht gewesen durch Entstellung der Kurven durch Schleuderung des Längenzeichners. Wenn man einen leichteren Hebel verwende, erhalte man auch beim warmen Muskel ein Hinausgehen der Anschlagszuckung über die isotonische.

Schenck[3] hat deshalb seine früheren Versuche

[1] Pflügers Archiv f. Physiolog. Bd. 55. S. 626.
[2] Skandinav. Archiv f. Physiolog. Bd. VI. S. 242.
[3] Pflügers Archiv f. Physiolog. Bd. 62. S. 499.

wiederholt, und zwar mit Verwendung eines leichten Hebels, der keine in Betracht kommenden Trägheitsschwingungen zeigte, und gibt auf Grund seiner neuen Versuche zu, dass dieser Einwand berechtigt ist, wenn auch nach seinen Versuchsresultaten das Hinausgehen der Anschlagszuckungskurve des warmen Muskels durchaus nicht so beträchtlich ist, wie man nach den Auseinandersetzungen *Blix'* erwarten sollte, sondern sehr gering; es kam in diesen Versuchen wie er angibt, auch wenn die Anschlagszuckung schliesslich über die isotonische hinausging, meist vor, dass der Abstieg der Anschlagszuckungskurve noch innerhalb des Areals der isotonischen begann.

Wenn also zugegeben werden muss, dass bei Verwendung jenes Hebels die Zuckungskurve des warmen Muskels infolge Schleuderung entstellt widergegeben ist, so wird man vermuten müssen, dass auch in den Eingangs erwähnten Versuchen über den Einfluss der Belastung auf den Zuckungsverlauf des warmen Muskels die Schleuderung eine Rolle gespielt hat. Dass diese Vermutung berechtigt ist, lehrt ein Blick auf die Figur I bei *Schenck,* die ich hier nochmals zum Abdruck bringe.



Figur I.

Besonders am Ende ist die Schleuderung ganz unverkennbar, und es darf demnach wohl nicht zweifelhaft sein, dass auch der höchste Gipfel und die Gipfelzeit nicht richtig wiedergegeben sind. Es dürften deshalb neue Untersuchungen über diesen Gegenstand erwünscht sein.

Versuchsanordnung.

Als Hebel wurde verwendet ein möglichst leichter Strohhalm; die Länge dieses Hebels von der Axe bis zur Schreibspitze betrug 13 cm, der Angriffspunkt des Muskels am Hebel war von der Axe 10 cm entfernt. Demnach wurde die Verkürzung des Muskels in 1,3 facher Vergrösserung widergegeben. Die Vergrösserung wurde absichtlich so gering gewählt, eben mit Rücksicht darauf, dass bei sehr starker Vergrösserung Schleuderung des Zeichenhebels leichter im Spiel ist. Das den Muskel belastende Gewicht hing an einem Faden, welcher entweder über eine mit der Axe fest verbundene Rolle von 5 mm Radius lief, oder über eine Stelle der Axe selbst, deren Radius nur den vierten Teil des Radius der Rolle betrug.

Als Präparat habe ich stets den Gastrocnemius des Frosches benutzt — nicht ohne Grund. Gerade um die leidigen Schleuderungen zu vermeiden, ist es — abgesehen von der Brauchbarkeit des Schreibhebels — nicht unwichtig, ob man einen langen Muskel, eventuell zwei zusammenhängende, oder einen kurzen benutzt, und wahrscheinlich hat das lange Präparat von Doppelsemimembranosus und Gracilis, das *Schenck* zu seinen Arbeiten verwendete, ein gut Teil zu den Ungenauigkeiten beigetragen. Beim Gas-

trocnemius ist dies nicht der Fall, der kleine kurze Muskel ist zu derartigen Dingen besser verwendbar.

Die Belastungen, welche in meinen Versuchen zur Verwendung kamen, waren folgende: An dem Faden, welcher über die Rolle, resp. über die Axe ging, wurde eine Gewichtsschale aufgehangen, die 16 gr wog. Hing der Faden über der Rolle, so betrug die am Muskel wirkende Last $^1/_{20}$ der an der Rolle wirkenden, d. h. also in unserm Falle 0,8 gr. Hing die Schale an dem Faden über der Axe, so betrug das Gewicht noch weniger, nur den vierten Teil = 0,2 gr. Allerdings kommt noch hinzu das Gewicht des Verbindungsstückes zwischen Muskel und Zeichenhebel, und des Zeichenhebels selbst. Diese beiden Stücke wirkten am Muskel mit einer Last von 0,6 gr ein, sodass also die beiden Belastungen bei Verwendung der Gewichtsschale, das eine Mal an der Rolle, das andere Mal an der Axe 1.4 gr und 0.8 gr betrugen. Auf die an der Rolle hängende Schale wurden nun nacheinander folgende Gewichte aufgelegt: 50 gr, 100 gr, 200 gr, 500 gr.

Die Belastungen des Muskels betrugen in diesen Fällen demnach 3.9 gr, 6.4 gr, 11.4 gr, 26.4 gr.

Die Versuche wurden nun in der Art angestellt, dass der Muskel nacheinander mit den verschiedenen Lasten belastet wurde, und bei jeder Last eine Zuckungskurve auf die Trommelfläche aufzuzeichnen hatte. Entweder wurde eine solche Serie in der Weise angestellt, dass mit der geringsten Last begonnen wurde und von da an die Lasten immer mehr gesteigert wurden, oder umgekehrt. Da das Muskelstativ und die Trommel während einer Serie immer an demselben Platze stehen blieben, so fallen bei einer so erhaltenen

Kurvenschaar die Reizmomente alle auf denselben Abscissenpunkt der Tafel, und die Kurven können, weil auch die Drehungsgeschwindigkeit der Trommel die gleiche war, betreffs der zeitlichen Verhältnisse direkt mit einander verglichen werden.

Was das Übrige betraf, so entsprach die Versuchsanordnung ganz der von *Schenck* angewandten.

Die feuchte Kammer, in welcher der Muskel hing, besteht aus einem Blechhohlcylinder mit doppeltem Mantel; derselbe ist am untern Ende verschlossen bis auf ein kleines Loch, durch welches das Verbindungsstück des Muskels mit dem Hebel ging, oben dagegen offen. Von oben ragen der Muskelhaken und ein Thermometer in die Kammer hinein. War das Präparat in die Kammer versenkt, so wurde ihre obere Öffnung durch Watte verstopft. Die Temperatur in der Kammer konnte variirt werden durch Eingiessen von beliebig temperiertem Wasser in den Hohlraum des doppelten Mantels. Zum Zu- und Ablassen des Wassers dienten zwei Öffnungen an dem oberen und unteren Ende das Mantels. Der Muskel war mit seinem oberen Ende an dem Muskelhaken befestigt, das untere Ende war in den ersten Versuchen mit einem Faden mit dem Angriffspunkt des Längenzeichners verbunden in den späteren wurde statt des Fadens ein ganz dünner Drath verwendet, weil die Verbindung des Muskels mit dem Angriffspunkt des Längenzeichners durch den Faden zu beweglich war, und besonders bei geringer Last leicht dadurch Entstellungen der Kurve eintreten konnten.

Das Präparat wurde in seiner ganzen Länge aufgehangen, die zuleitenden Dräthe der sekundären

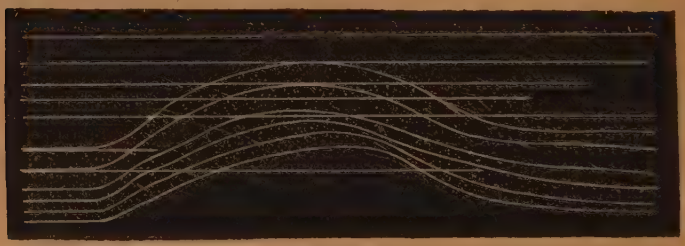
Spirale direkt als Elektroden angelegt, der Muskel wurde maximal gereizt durch Öffnungsinduktionsströme.

Die Kurven wurden registriert auf ein grosses Cylindermyographion nach *Fick*.

Die erste Aufgabe, die ich zu lösen hatte, war die Entscheidung der Frage, ob die Gipfelzeiten der Kurven sich so verhalten, wie es von *Schenck* angegeben wird.

Diese Versuche wurden also alle am warmen Muskel gemacht; zur Erwärmung des Muskels wurde Wasser von etwa 33^0—35^0 in den Hohlraum des Mantels gegossen. Dadurch wurde eine Temperatur der feuchten Kammer und des Muskels von etwa 30^0—31^0 erhalten.

Ich will nun die Versuchsergebnisse erläutern an der Hand einiger Beispiele:

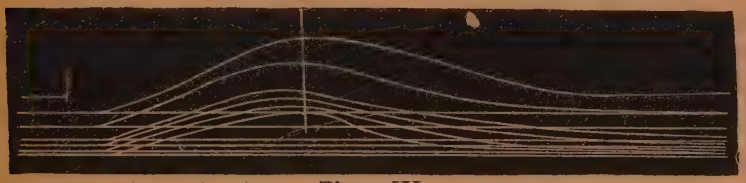


Figur II.

Figur II stellt eine Kurvenschaar dar. Die Figuren sind nicht in Originalgrösse wiedergegeben, sondern 2fach (linear) vergrössert, weil die Originale zu klein sind, um alle Einzelheiten leicht erkennen zu lassen. Die oberste ist bei 0,8 gr, die unterste bei 26,4 gr aufgenommen, und die dazwischen liegenden entsprechen den vorhin angegebenen Belastungen. Durch die Kurven sind einige horizontale Linien gezogen, welche dazu dienen, die Gipfelzeit leichter zu erkennen.

Man sieht an den Kurven zunächst, dass die Gipfelzeiten innerhalb der Belastungen von 0,8—3,9 gr mit der Belastung allmählig etwas früher eintreten, allerdings ist der Unterschied zwischen den Gipfelzeiten der verschiedenen Kurven ein sehr geringer. Von der Belastung 3,9 gr ab, die die dritte Kurve von oben gegeben hat, fällt die Gipfelzeit kontinuirlich später.

Ein zweites Beispiel derart ist die Kurvenschaar Figur III.



Figur III.

Die Kurvenserie ist bei derselben Belastung aufgenommen wie die in Figur II.

Hier ist das frühere Eintreten der Gipfelzeit bei stärkerer Belastung innerhalb der Belastungswerte 0,8—3,9 gr noch viel deutlicher zu sehen als bei Figur II.

Ferner ist aber auch noch bemerkenswert, dass die Gipfelzeit bei der Belastung 26,4 nicht mehr wesentlich später liegt als bei der Belastung 11,4 gr. Demnach scheint die Verspätung der Gipfelzeit, die bei grossen Belastungswerten mit der Zunahme der Last eintritt, eine gewisse Grenze zu haben, über welche hinaus weitere Steigerung der Last keine weitere Verspätung der Gipfelzeit mehr zur Folge hat.

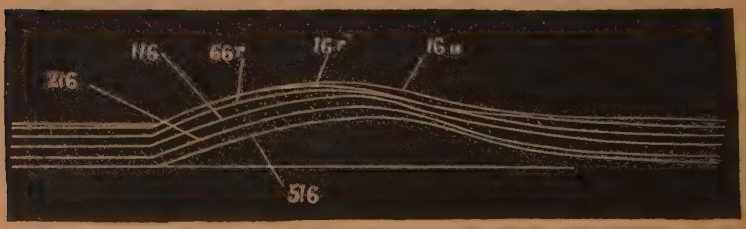
Dieses Verhalten: Im Anfang mit Zunahme der Last Verfrühung, nachher dann aber Verspätung der

Gipfelzeit bis zu einer gewissen Grenze, war die Regel in allen meinen Versuchen.

Indessen muss noch erwähnt werden, dass man gegen die Aufstellung dieses Satzes einen Einwand machen könnte: Die Bedingungen zum Entstehen von Schleuderungen des Längenzeichners sind um so günstiger, je geringer die Last ist, und deshalb wird sich fragen, ob die anfängliche Verfrühung der Gipfelzeit mit Zunahme der Last, die in unseren Versuchen beobachtet wurde, vielleicht bedingt ist durch Schleuderung des Längenzeichners. Bei der geringsten Last könnte die Schleuderung des Zeichners am grössten gewesen sein, und infolgedessen der Gipfel da am spätesten fallen. —

Ich glaube nun, die Ansicht sicher ausschliessen zu können, dass hier Schleuderungen im Spiel sind. Zwar lassen die in Figur II und III widergegebenen Kurven am Ende einige Unregelmässigkeiten erkennen, die auf Schleuderung hindeuten könnten, indessen sind diese sehr gering.

Aber ich habe noch andere Kurven unter meinem Versuchsmaterial, bei denen die Schleuderung sicher ausgeschlossen ist, z. B. die in Figur IV wiedergegebene Kurven.



Figur IV.

Da sind im ganzen zu sehen sechs Kurven; eine Schleuderung am Ende ist nicht zu erkennen. Die Belastung war dieselbe wie in den früheren Versuchen, sie ist bei den Curven auch selbst angegeben; die Zahlen geben die an dem Faden hängende Last in Grammen an, der Buchstabe a oder r giebt an, ob der Faden über der Achse oder der Rolle hing. Man sieht bei der zweiten den Gipfel ganz deutlich gegen den der ersten und dritten verfrüht. Bemerkenswerth ist dabei, dass die Steilheit des Anstiegs der zweiten Curve gerade so gross ist, wie die der ersten. Mithin müsste der Grad der Entstellung der Curven durch Schleuderung in beiden Fällen der gleiche sein und trotzdem ist die Gipfelzeit der zweiten verfrüht.

Ich muss also die früheren Angaben *Schencks,* dass beim warmen Muskel die Gipfelzeit um so früher liegt, je grösser die Belastung, dahin richtig stellen, dass die Verfrühung blos von den geringsten Lasten an bis zu einer gewissen mittleren Last eintritt, dass aber bei weiterer Steigerung der Last nun die Gipfelzeit sich fortwährend verspätet bis zu einer gewissen Grenze.

Dieses Resultat führte nun aber zu einer neuen Frage. *Schenck* hat angegeben, dass beim kalten Muskel, wenigstens in der Regel, die Gipfelzeit um so später liegt, je grösser die Belastung. Nun wäre es möglich, dass für den kalten Muskel dasselbe gilt, wie für den warmen und dass *Schenck* dieses nur nicht gefunden hat, weil er ganz geringe Lasten in seinen Versuchen nicht angewendet hat. Deshalb erschien es von Interesse, zu untersuchen, ob auch der

abgekühlte Muskel bei den ganz geringen Lasten eine um so frühere Gipfelzeit hat, je grösser die Last ist.

Um diese Frage zu entscheiden, habe ich nun auch am kalten Muskel Versuche angestellt in derselben Weise wie am warmen.

Die Abkühlung geschah dadurch, dass kaltes Wasser in den Hohlraum des Mantels der feuchten Kammer eingegossen wurde. Auf diese Weise wurde eine Temperatur des Muskels von etwa 8^0—12^0 erzielt.

Es ergab sich nun da übereinstimmend, dass auch bei den geringen Lasten die Gipfelzeit um so später liegt, je grösser die Last.

Demnach besteht, wenigstens bei geringen Lasten doch ein solcher Unterschied in der Lage der Gipfelzeit des warmen und des kalten Muskels, wie es von *Schenck* angegeben ist.

Eine zweite Reihe von Versuchen habe ich angestellt, die Hubhöhen des warmen und des kalten Muskels bei verschiedener Belastung mit einander zu vergleichen.

Nach den Angaben von *Schenck* soll die Hubhöhe sowohl beim warmen als beim kalten Muskel um so geringer sein, je grösser die Last, aber es soll zwischen warmen und kalten Muskel insofern ein Unterschied bestehen, als die Abnahme der Hubhöhe mit Zunahme der Last beim warmen Muskel schneller vor sich geht, als beim kalten.

Es könnte auch dieser Unterschied durch Schleuderung bedingt sein, und daher erscheint es wünschenswert, diese Versuche zu widerholen. Ich will die Resulsate einiger Versuche in Tabellenform widergeben:

I. Präparat.

Belastung	Warm	Kalt
0.8	6.5	5.7
1.4	6	5.7
3.9	5	5.7
6.4	5	5.6
11.4	4.5	5.6
26.4	4	5.3

II. Präparat.

Belastung	Warm	Kalt
0.8	3.4	3.8
1.4	3.0	3.8
3.9	2.8	3.8
6.4	2.4	3.8
11.4	2.2	3.0
26.4	2.0	3.0

III. Präparat.

Belastung	Warm	Kalt
0.8	3	2.6
1.4	3	2.6
3.9	2.5	2.6
6.4	2.3	2.6
11.4	2.2	2.6
26.4	2	2.6

IV. Präparat.

Belastung	Warm	Kalt
0.8	4	3.8
1.4	4	3.5
3.9	3.4	3.4
6.4	3	3.3
11.4	3	3.3
26.4	2.5	3

V. Präparat.

Belastung	Warm	Kalt
0.8	5.7	5.6
1.4	5.3	5.6
3.9	5.0	5.5
6.4	4.8	5.5
11.4	4.5	5.0
26.4	4.2	5.0

In den Tabellen steht vorn in der ersten senkrechten Rubrik die Belastung in Grammen angegeben, dann folgen in den ferneren senkrechten Rubriken die Hubhöhen in Millimetern angegeben, für jedes Präparat die erste senkrechte Rubrik für die hohe Temperatur, die zweite für die niedrige.

Man entnimmt nun diesen Daten, dass auch hier die Hubhöhe bei dem warmen Muskel mit Zunnahme der Belastung schneller abnimmt als beim kalten.

Um das noch mehr zu veranschaulichen, will ich folgende Umrechnung vornehmen:

Ich setze in allen Fällen die Hubhöhe bei der geringsten Last = 1 und rechne aus, wie gross dann die Hubhöhe bei der grössten Last ist. Ich erhalte so:

	Warm	Kalt
Versuch I	0.62	0.94
„ II	0.59	0.79
„ III	0.66	1
„ IV	0.67	0.79
„ V	0.71	0.81

Die Zahlen sind bei kaltem Muskel durchweg grösser als beim warmen. Diese Versuchsresultate bestätigen die früheren Angaben von *Schenck*.

Was die Enden der Zuckungen anlangt, so hat *Schenck* angegeben, dass die Enden der Zuckungen des warmen Muskels um so früher fallen, je grösser die Belastung ist, dass dagegen beim kalten Muskel die Enden ungefähr alle zusammenfallen.

Über das Verhalten der Enden der Zuckungen vermag ich keine sicheren Angaben zu machen, weil der Verkürzungsrückstand es unmöglich macht, das Ende der Zuckung sicher zu bestimmen.

In einigen Fällen schien allerdings die Kurve des warmen Muskels bei grosser Last früher zu enden, als bei kleiner. Ein solcher Fall zeigt sich in der vorhin angegebenen Figur III.

Aber Ähnliches zeigte sich auch zuweilen beim kalten Muskel. In dieser Hinsicht scheint also kein wesentlicher Unterschied zwischen kaltem und warmen Muskel zu bestehen.

Nach den Arbeiten von *Gad* und *Heymanns*[1] erzielt man die absolut höchste Hubhöhe mit einem Muskel, der auf 30^0 erwärmt ist; bei herabsinkender Temperatur nimmt zunächst auch die Hubhöhe stetig ab, um von 20^0 ab wieder in die Höhe zu gehen und bei einer Temperatur von 0^0 ein zweites relatives Maximum zu erreichen, welches dem ersten bei 30^0 jedoch nicht gleichkommt. Bei 5^0 minus ist auch die Hubhöhe $= 0$.

Gad und *Heymanns* haben mit einer Belastung der Gastrocnemius von 10^0 gearbeitet.

Über diese Belastung sagen sie folgendes:

„Die angegebene Beslastung des Muskels mag

[1] Du Bois-Reymonds Archiv f. Physiolog. 1890. Supplem. S. 59.

klein erscheinen, doch muss das Prinzip der isotonischen Wirkungsweise des Muskels um so treuer zum Ausdruck kommen, je kleiner die Belastung ist, vorausgesetzt, dass dieselbe ausreicht, die Muskelfasern von vornherein zu strecken. Dass dieses in unseren Versuchen der Fall gewesen ist wird bewiesen durch den regelmässigen Verlauf der Kurven und durch die unter den entsprechenden Bedingungen sehr kurze Dauer des Latenzstadiums. Dem Umstand, dass wir uns mit der Belastung an den unteren Grenzen gehalten haben, haben wir es auch wohl zuzuschreiben, dass unsere isotonischen Kurven selbst bei grosser Steilheit des Anstiegs durch sehr wenig Schleuderung kompliziert sind. Bewiesen wird dies dadurch, dass beim Tetanisieren auch im Falle der grössten Steilheit des Anstieges der Tetanuskurven die Gleichgewichtslinie des Tetanus anfänglich sehr wenig oder gar nicht überschritten wird."

Betreffs des Verhaltens der beiden Maxima bei hoher und niederer Temperatur hat schon *Schenck* darauf aufmerksam gemacht, dass infolge des von ihm beobachteten und von mir, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich, bestätigten Verhaltens der Hubhöhe bei verschiedenen Lasten und verschiedenen Temperaturen (schnellere Abnahme der Hubhöhe des warmen Muskels bei zunehmender Last) das Maximum beim warmen Muskel nicht immer, wie *Gad* und *Heymanns* angeben, grösser ist als beim kalten.

Bei sehr starker Belastung fand er das Maximum beim warmen Muskel kleiner als das beim kalten.

Es muss nun nach den bisher gemachten Erfahrungen in Erwägung gezogen werden, ob nicht auch

in den von *Gad* und *Heymanns* beobachteten Fällen das Maximum beim warmen Muskel nur scheinbar grösser gewesen ist als beim kalten, weil beim warmen Muskel der Hebel geschleudert worden ist, und seine Erhebung dadurch grösser geworden ist, als der wirklichen Hubhöhe des Muskels entspricht.

Wie aus dem oben Citierten hervorgeht, halten *Gad* und *Heymanns* selbst für ausgeschlossen, dass ihre Kurven durch Schleuderung entstellt sind.

Ihren Ausführungen gegenüber ist aber folgendes zu bedenken:

1. Wenn sie sagen, dass eine Schleuderung deshalb höchstens in geringem Umfange ihre Kurven nur entstellt haben kann, weil beim Tetanisieren auch im Falle der grössten Steilheit des Anstieges der Tetanuskurve die tetanische Hubhöhe anfänglich sehr wenig oder gar nicht überschritten wird, so befinden sie sich in diesem Punkte im Irrtum.

Es könnte nämlich möglich sein, dass im Beginn der Kontraktion des tetanisierten Muskels der Hebel wohl erheblich geschleudert wird, dass aber, ehe er von dem höchsten Punkte, bis zu dem er geworfen wurde, herabsinkt, der Muskel sich ebenfalls bis zu diesem Punkte verkürzt hat und den Hebel nun bei seiner weiteren Kontraktion mitnimmt; denn es braucht ja der höchste Punkt, bis zu dem der Hebel geworfen wird, nicht notwendigerweise höher zu liegen, als die Hubhöhe des Tetanus.

2. Gegen Ende der Zuckungskurven des warmen Muskels zeigen sich bei *Gad* und *Heymanns* erhebliche Schleuderungen, die die Vermutung rechtfertigen, dass auch im Gipfelpunkt Schleuderung eingetreten ist.

Es ist demnach keineswegs ausgeschlossen, dass die Hubhöhe bei 30° in Wirklichkeit kleiner ist, als die bei 0°.

Eine gewisse Bestätigung dieser Vermutung liefern uns die Zahlen in der früher gegebenen Tabelle: Hier war die Temperatur des warmen Muskels etwa 30°—32°, entsprach also ungefähr der Temperatur, bei welcher das Maximum der Hubhöhe des warmen Muskels eintritt; denn wir können auf Grund unserer eigenen Erfahrungen, die wir in unseren Untersuchungen gemacht haben, aussagen, dass die Hubhöhe nicht schon bei Erwärmung des Muskels von 30° an aufwärts stetig sinkt, sondern dass das absolute Maximum der Hubhöhe durchweg bei noch etwas höheren Temperaturen, 30—36° erhalten wurde.

Die Temperatur des kalten Muskels betrug in den Fällen, die für die Anfertigung der Tabelle gedient haben, etwa 8—12°, d. i. eine Temperatur, bei der die Hubhöhe viel niedriger ist, als es dem Maximum bei 0° nach der Angabe von *Gad* und *Heymanns* entspricht.

Es zeigt sich nun in der Tabelle immer, dass bei einer Belastung mit 11,4 gr, die der von *Gad* und *Heymanns* angewendeten am nächsten kommt, durchweg die Hubhöhe beim warmen Muskel kleiner ist, als die beim kalten. Dabei ist zu wiederholen, dass bei uns Schleuderungen mehr vermieden sind, als bei *Gad* und *Heymanns*.

Allerdings ist nach dieser Tabelle bei Verwendung noch viel geringerer Lasten, nämlich einer Belastung von 0,8 gr die Hubhöhe doch beim warmen Muskel immer bis auf einen Fall grösser als beim kalten.

Da nun freilich hier der Muskel nicht so weit abgekühlt war, dass das am kalten Muskel zu erhaltende Maximum schon erreicht sein konnte, so ist doch dabei immerhin die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass auch bei der geringsten zur Verwendung gekommenen Last das Maximum der Hubhöhe des kalten Muskels grösser ist, als das beim warmen.

Deshalb erschien es nicht überflüssig, noch weitere Versuche anzustellen, in denen der Muskel noch mehr abgekühlt wurde, als in den eben erwähnten, und in solchen Fällen, die bei sehr geringer Belastung zu erhaltenden Hubhöhe des warmen und des kalten Muskels zu vergleichen.

Eine Reihe von Versuchen mit dem Gastrocnemius hat folgendes ergeben:

I. Präparat.

Hubhöhe bei 7.5^0 = 2.5 mm
„ „ 33.0^0 = 2 mm

II. Präparat.

Hubhöhe bei 4.0^0 = 5 mm
„ „ 35.0^0 = 6.5 mm

III. Präparat.

Hubhöhe bei 5.0^0 = 3 mm
„ „ 30^0—37^0 = 4 mm

IV. Präparat.

Hubhöhe bei 1.0^0 = 5.5 mm
„ „ 37.0^0 = 5.5 mm

V. Präparat.

Hubhöhe bei 1.0^0 = 5.5 mm
„ „ 36.0^0 = 5.8 mm

VI. Präparat.

Hubhöhe bei 2.0^0 = 5.5 mm

„ „ 35^0 = 6.5 mm

Ausserdem wurden noch zwei Versuche gemacht mit dem Präparat von Doppelsemimembranosus und Gracilis in kurzer Anordnung.

I. Präparat.

Hubhöhe bei 2^0 = 5.5 mm

„ „ 36^0 = 6.0 mm

II. Präparat.

Hubhöhe bei 2^0 = 7.5 mm

„ „ 36^0 = 9.5 mm.

Das Ergebnis dieser Versuche ist also im Wesentlichen, dass in einigen Fällen die Hubhöhe des kalten Muskels auch bei der geringsten Belastung noch grösser ist, als die des warmen, dass allerdings in den meisten Fällen die Hubhöhe des warmen grösser ist.

Bemerkenswert und von grossem theoretischen Interesse ist jedenfalls die Thatsache, dass die grösste überhaupt zu erreichende Hubhöhe durchaus nicht immer, wie man erwarten sollte, bei hoher Temperatur auftritt, sondern in vielen Fällen, nämlich immer bei starker Belastung, zuweilen aber auch bei geringer Last, bei der geringen Temperatur von 0^0 zu erhalten ist.

Zum Schluss erfülle ich die angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Fick für die gütige Überweisung des Themas sowie Herrn Privatdozent Dr. Schenck für seine liebenswürdige Unterstützung bei meinen Arbeiten meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.